

Optimització i implementació en Simulink de l'adquisició d'una senyal GPS amb blocs FFT

Índex de la presentació

- Introducció
- Descripció general del sistema
- El receptor
- Estudi i disseny de l'etapa d'adquisició
- Conclusions

Introducció

- Breu revisió del sistema GPS i els seus principis de funcionament
- Estudi de les etapes d'un receptor amb detall l'etapa adquisició
- Implementació de l'adquisició es realitza en els entorns de software Matlab i Simulink
- Objectiu consisteix en optimitzar de manera eficient els recursos utilitzats en el disseny de la part d'adquisició

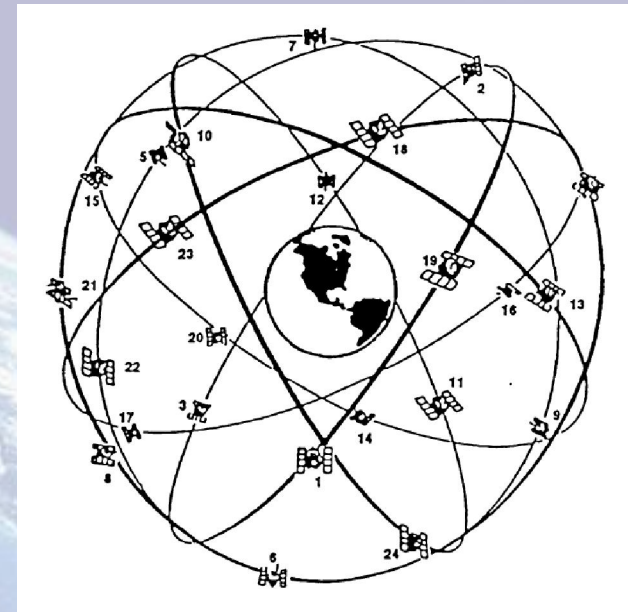
Descripció general del sistema

■ Que és?

- El GPS Sistema de Posicionament Global és un Sistema Global de Navegació per Satèl·lit (GNSS) dels Estats Units
- Proporciona serveis fiables de posicionament, navegació, i cronometria gratuïts, de manera ininterrompuda i sense límit d'usuaris simultanis de tot el món

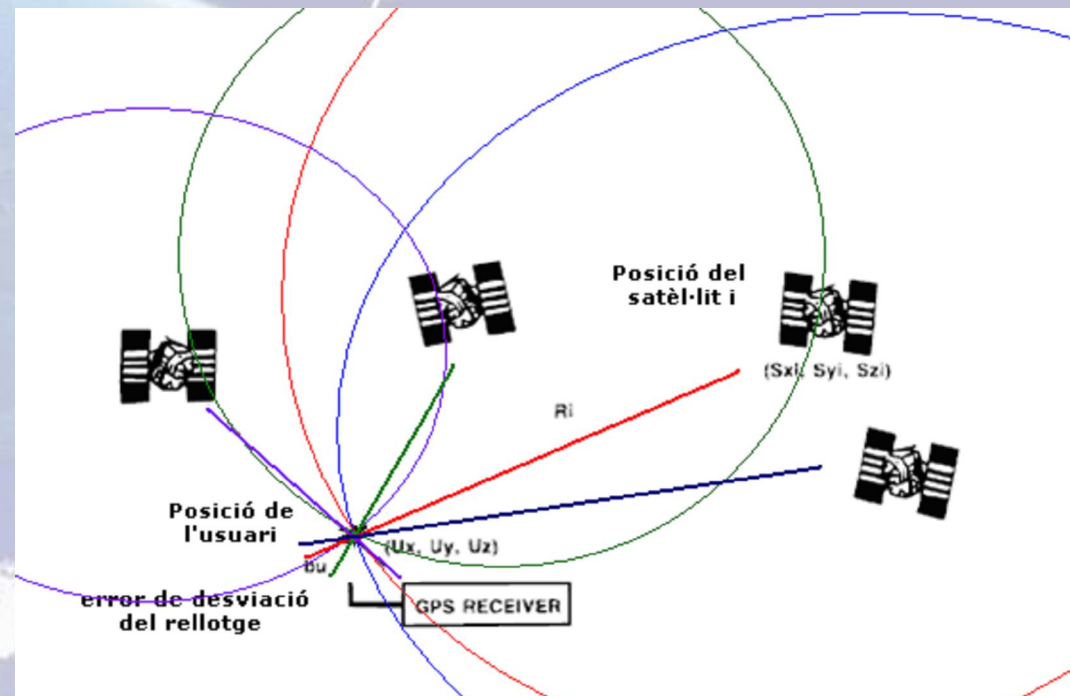
■ Constituit per 3 segments:

- Segment espacial
 - Constel·lació definida 24 satèl·lits (actualment 31)
 - Distribuïts 6 plans orbitals
- Segment de control
 - La Estació de Control Mestre (ECM)
 - Les Estacions de Monitoratge (EM)
 - Les Antenes Terra (AT)
- Segment d'usuari
 - Receptors que reben i processen les senyals dels satèl·lits



▪ Concepte bàsic de funcionament

- El receptor GPS utilitza la distància que hi ha entre ell i els satèl·lits per calcular la posició on es troba
- Posició dels satèl·lits coneguda → taules de dades que es tx en el missatge → les efemèrides
- Es necessiten 4 satèl·lits per determinar la posició de l'usuari



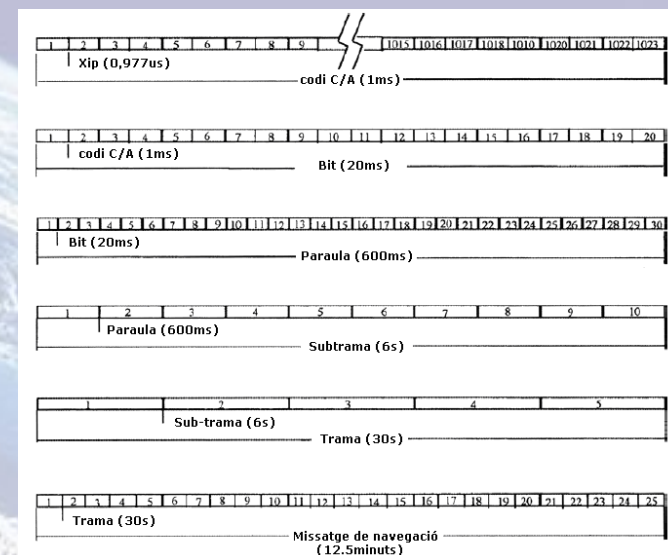
Les senyals

Codis de soroll pseudoaleatori

- El GPS utilitza els codis **GOLD**
 - No són absolutament ortogonals
 - Bones propietats de correlació
- Codi P (Precision)** encriptat en el **codi Y** → **Codi P(Y)**
 - Freqüència de 10,23MHz
 - Protecció anti-spoofing
 - Usuaris autoritzats
- Codi C/A (Coarse/Adquisition)**
 - Freqüència de 1,023Mhz
 - Seqüència 1023 xips → 1ms
 - No encriptat (disponible per tots els usuaris)

Missatge de navegació

- Freqüència de 50Hz
- Dades que conté:
 - Telemetria
 - La correcció del rellotge
 - Les efemèrides
 - Coeficients del model ionosfèric



▪ **Modulacions**

▪ **Espectre eixamplat per Seqüència Directa (DS) – Accés Múltiple per Divisió de Codi (CDMA)**

- Cada satèl·lit genera el corresponent codi PRN superposant-lo amb el missatge de navegació
- El receptor correla les diferents seqüències de codi PRN amb la senyal rebuda
- Si en la correlació apareix un pic:

seqüència generada pel receptor = seqüència superposada al missatge de navegació del satèl·lit que el transmet

▪ **Modulació (BPSK) en dues portadores de la banda D (1-2Ghz)**

- Portadora Link 1 (L1) a 1575,42Mhz → modulada pel codi C/A / codi P(Y) + missatge de navegació
- Portadora Link 2 (L2) a 1227,60Mhz → modulada pel codi P(Y) + missatge de navegació

El receptor

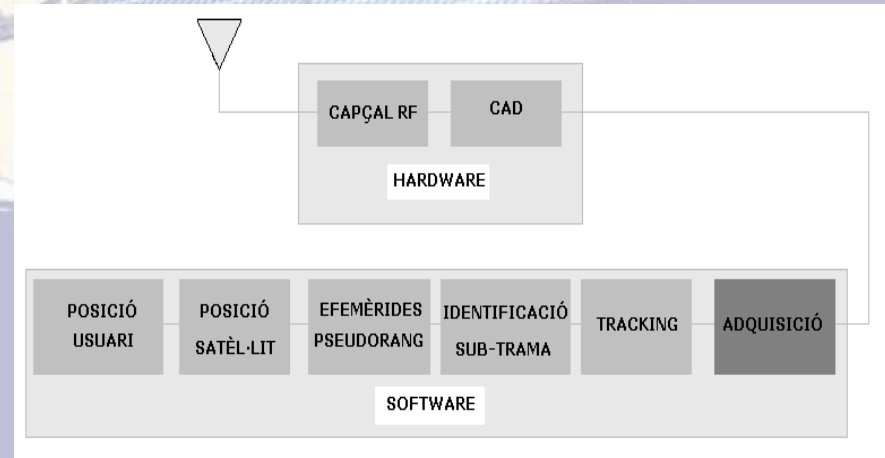
■ Etapes / parts d'un receptor:

■ Implementació Hardware

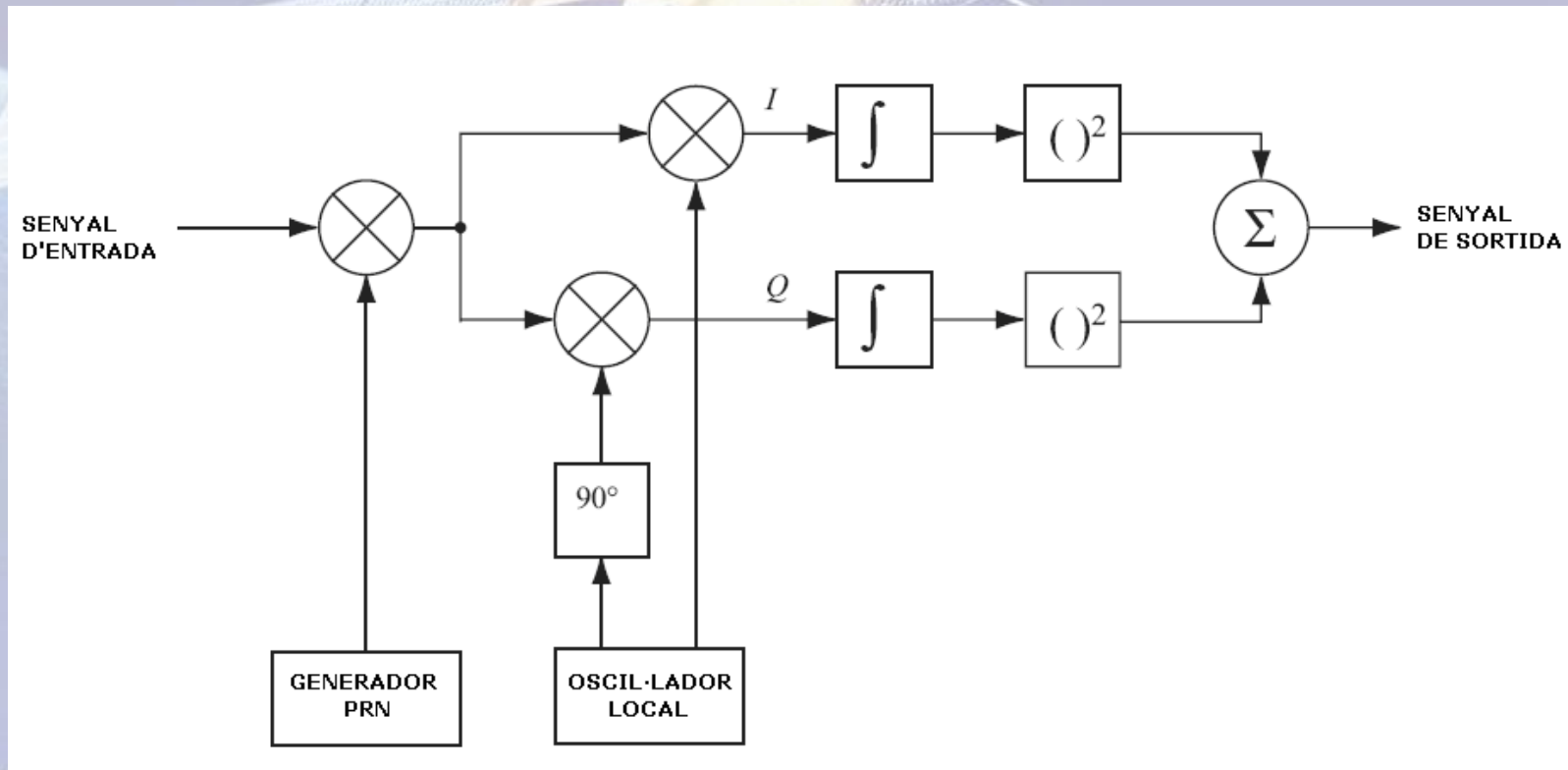
- Antena
- Capçal de radiofreqüència (RF) → amplificació, filtratge i desplaçament → (IF o BB)
- Convertidor (CAD)

■ Implementació Hardware/Software

- Adquisició
 - Detectar la presència de les senyals emeses dels satèl·lits
 - Obtenir la freqüència (Portadora + Desplaçament Doppler +/-10Khz)
 - Fase de codi
 - Tres mètodes d'implementació
- Seguiment → afinar la freqüència i la fase de codi, trobar les transicions o canvis de fase → bits dades navegació
- Resta de les etapes

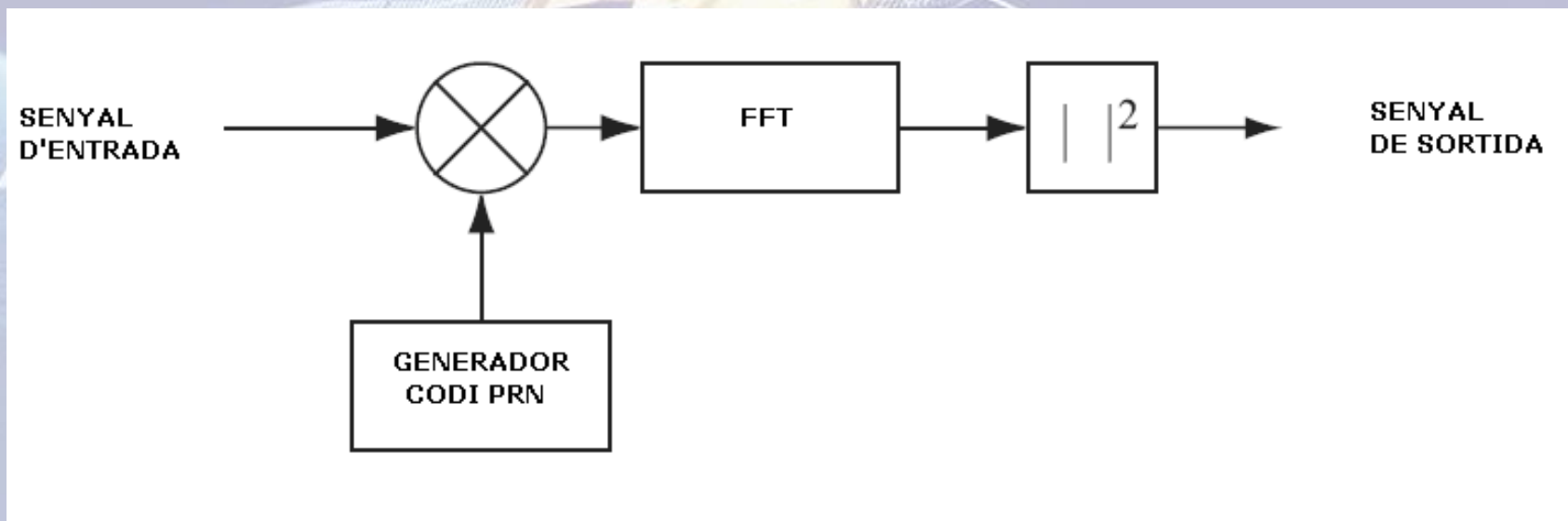


- Mètodes d'implementació de l'etapa d'adquisició
- Adquisició de la cerca en sèrie



$$1023 \cdot \left(2 \frac{10000}{500} + 1 \right) = 1023 \cdot 41 = 41943 \quad \text{Repeticions}$$

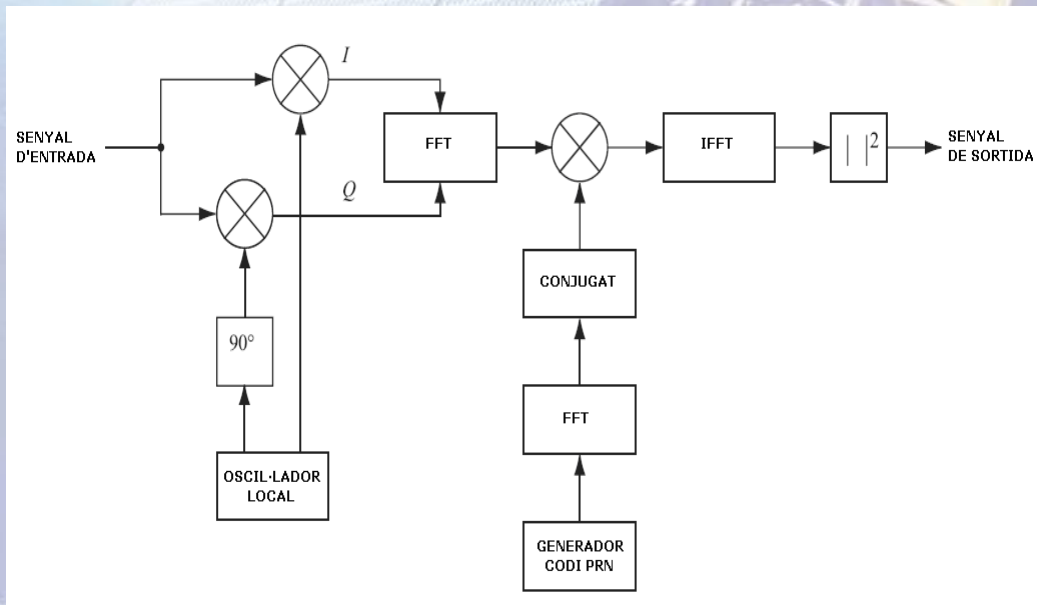
- Adquisició de la cerca de freqüència en paral·lel



1023 Repeticions

- Adquisició de la cerca de fase de codi en paral·lel

Correlació creuada circular



$$z(n) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(m)y(m+n) = \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} x(-m)y(m-n)$$

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)e^{-j2\pi kn/N}$$

$$Y(k) = \sum_{n=0}^{N-1} y(n)e^{-j2\pi kn/N}$$

$$Z(k) = \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{N-1} x(-m)y(m-n)e^{-j2\pi kn/N} =$$

$$= \sum_{m=0}^{N-1} x(m)e^{j2\pi km/N} \sum_{n=0}^{N-1} y(m+n)e^{-j2\pi k(m+n)/N} = X^*(k)Y(k)$$

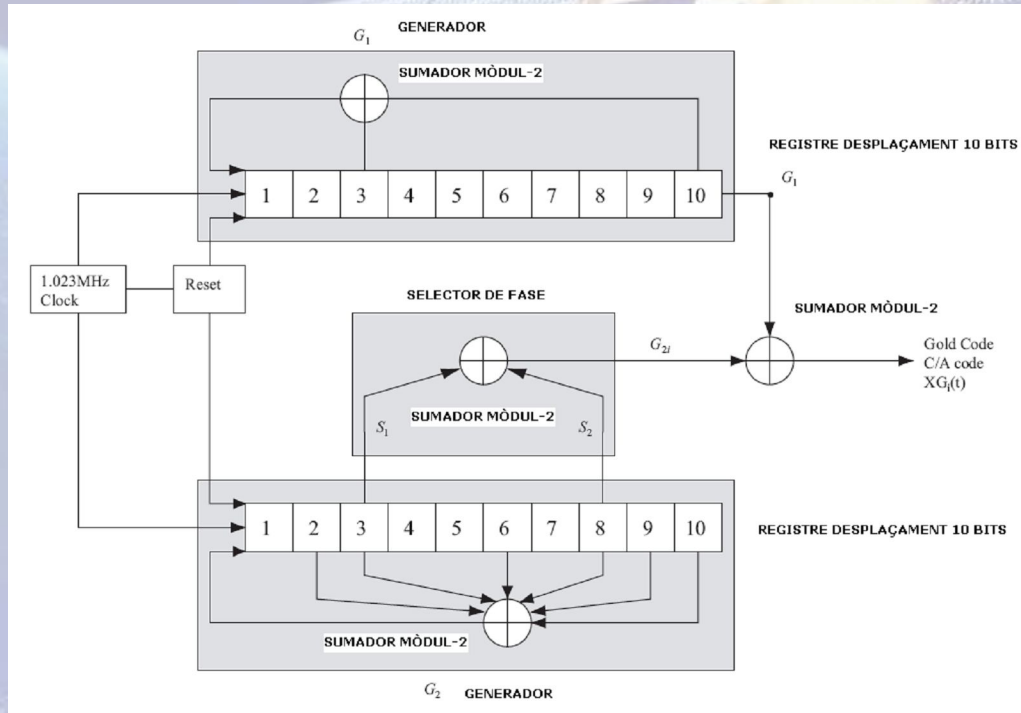
41 Repeticions

■ Taula de comparació

Algoritme	Temps d'execució (en segons)	Repeticions	Complexitat
Cerca en sèrie	87	41943	Baixa
Cerca de freqüència en paral·lel	10	1023	Mitjana
Cerca de fase codi en paral·lel	1	41	Alta

Estudi i disseny de l'etapa d'adquisició

- Generació del Codi C/A



OR EXCLUSIVA			MULTIPLICACIÓ		
Entrada	Entrada	Sortida	Entrada	Entrada	Sortida
0	0	0	-1	-1	1
0	1	1	-1	1	-1
1	0	1	1	-1	-1
1	1	0	1	1	1

Número ID del Satèl·lit	Número de la seqüència PRN	Selecció de la fase del codi	Xips de retard del codi	Primers 10 Xips del Codi C/A Base Octal
1	1	2 ⊕ 6	5	1440
2	2	3 ⊕ 7	6	1620
3	3	4 ⊕ 8	7	1710
4	4	5 ⊕ 9	8	1744
5	5	1 ⊕ 9	17	1133
6	6	2 ⊕ 10	18	1455
7	7	1 ⊕ 8	139	1131
8	8	2 ⊕ 9	140	1454
9	9	3 ⊕ 10	141	1626
10	10	2 ⊕ 3	251	1504
11	11	3 ⊕ 4	252	1642
12	12	5 ⊕ 6	254	1750
13	13	6 ⊕ 7	255	1764
14	14	7 ⊕ 8	256	1772
15	15	8 ⊕ 9	257	1775
16	16	9 ⊕ 10	258	1776
17	17	1 ⊕ 4	469	1156
18	18	2 ⊕ 5	470	1467
19	19	3 ⊕ 6	471	1633
20	20	4 ⊕ 7	472	1715
21	21	5 ⊕ 8	473	1746
22	22	6 ⊕ 9	474	1763
23	23	1 ⊕ 3	509	1063
24	24	4 ⊕ 6	512	1706
25	25	5 ⊕ 7	513	1743
26	26	6 ⊕ 8	514	1761
27	27	7 ⊕ 9	515	1770
28	28	8 ⊕ 10	516	1774
29	29	1 ⊕ 6	859	1127
30	30	2 ⊕ 7	860	1453
31	31	3 ⊕ 8	861	1625
32	32	4 ⊕ 9	862	1712
**	33	5 ⊕ 10	863	1745
**	34*	4 ⊕ 10	950	1713
**	35	1 ⊕ 7	947	1134
**	36	2 ⊕ 8	948	1456
**	37*	4 ⊕ 10	950	1713

*34 i 37 tenen el mateix codi C/A

** Els satèl·lits GPS no transmeten aquests codis; aquests son reservats per altres usos

■ Implementació Matlab

```
function [gr]=cacode(sv,fs)
```

```
% taula de la selecció
```

```
tap=[2 6; 3 7; 4 8; 5 9; 1 9; 2 10; 1 8; 2 9; 3 10; 2 3; 3 4; 5 6; 6 7; 7 8; 8 9; 9 10; 1 4; 2 5; 3 6; 4 7; 5 8; 6 9; 1 3; 4 6; 5 7; 6 8; 7 9; 8 10; 1 6; 2 7; 3 8; 4 9; 5 10; 4 10; 1 7; 2 8; 4 10];
```

```
% Polinomi  $x^{10}+x^3+1$ 
```

```
s=[0 0 1 0 0 0 0 0 0 1];
n=length(s);
g1=ones(1,n); %vector d'inicialització pel G1
L=2^n-1;
```

```
% Polinomi  $x^{10}+x^9+x^8+x^6+x^3+x^2+1$ 
```

```
t=[0 1 1 0 0 1 0 1 1 1];
q=ones(1,n); %vector d'inicialització pel G2
```

```
% Generació de seqüències de codi C/A:
```

```
tap_sel=tap(sv,:);
```

```
for inc=1:L
```

```
g2(:,inc)=mod(sum(q(tap_sel),2),2);
```

```
g(:,inc)=mod(g1(n)+g2(:,inc),2);
```

```
if g(:,inc)==0
```

```
gr(:,inc)=1;
```

```
else
```

```
gr(:,inc)=-1;
```

```
end
```

```
g1=[mod(sum(g1.*s),2) g1(1:n-1)];
```

```
q=[mod(sum(q.*t),2) q(1:n-1)];
```

```
end
```

```
%sumador XOR G2 amb selecció
```

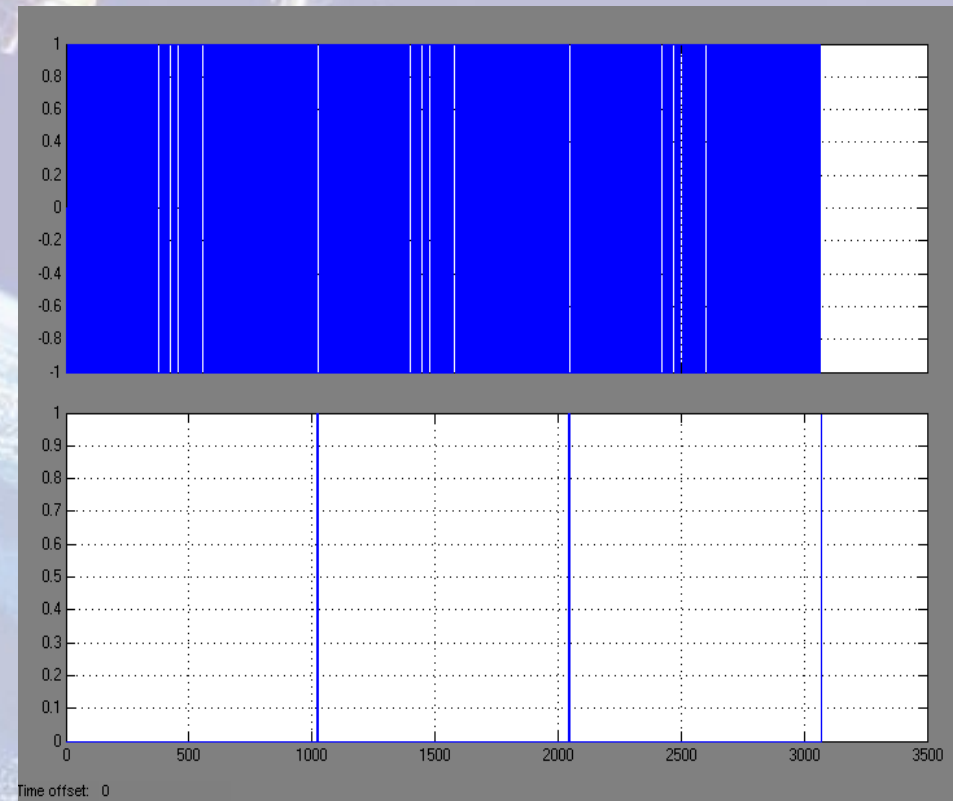
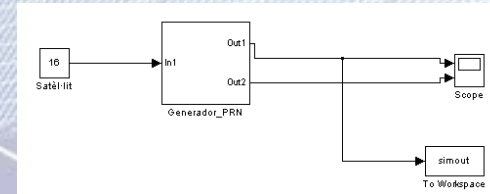
```
%sumador XOR G1 i G2
```

```
% Mapeig 0 -> +1, 1 -> -1
```

```
%sumador XOR G1
```

```
%sumador XOR G2
```

■ Implementació Simulink



■ Tractament previ de la senyal i el codi C/A

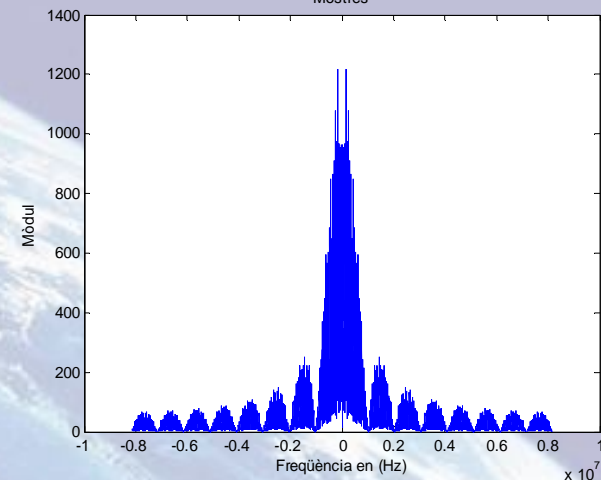
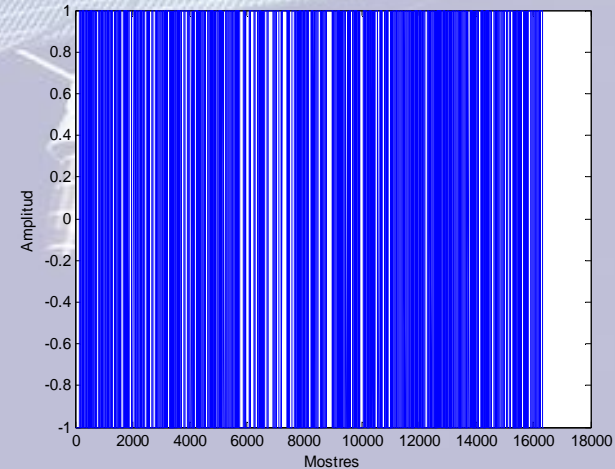
- La senyal és una captura d'un receptor:
 - Gravada en un fitxer en format binari
 - 70 segons de duració
 - Senyals emeses en la banda L1 de 5 satèl·lits: 16, 21, 24, 25 i 29
 - Freqüència Intermitja (FI) de 4,13Mhz
 - Freqüència de mostreig de 16,36Mhz
 - Quantificació i codificació nivell d'enters de 8 bits

- Es necessita baixar la senyal en freqüència a banda base

$$Senyal_banda_base_{complexa} = Senyal_pas_banda_{real} \cdot e^{-j \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_i \cdot t}$$

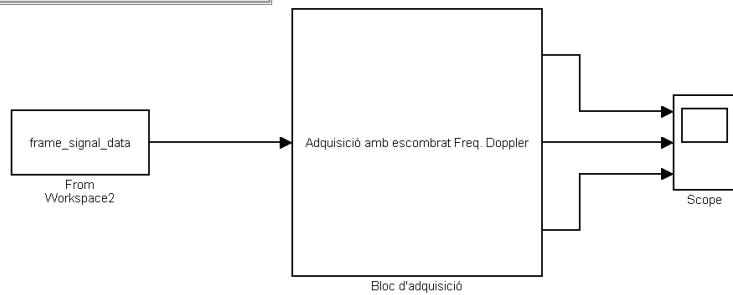
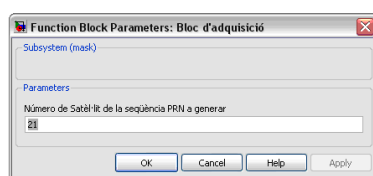
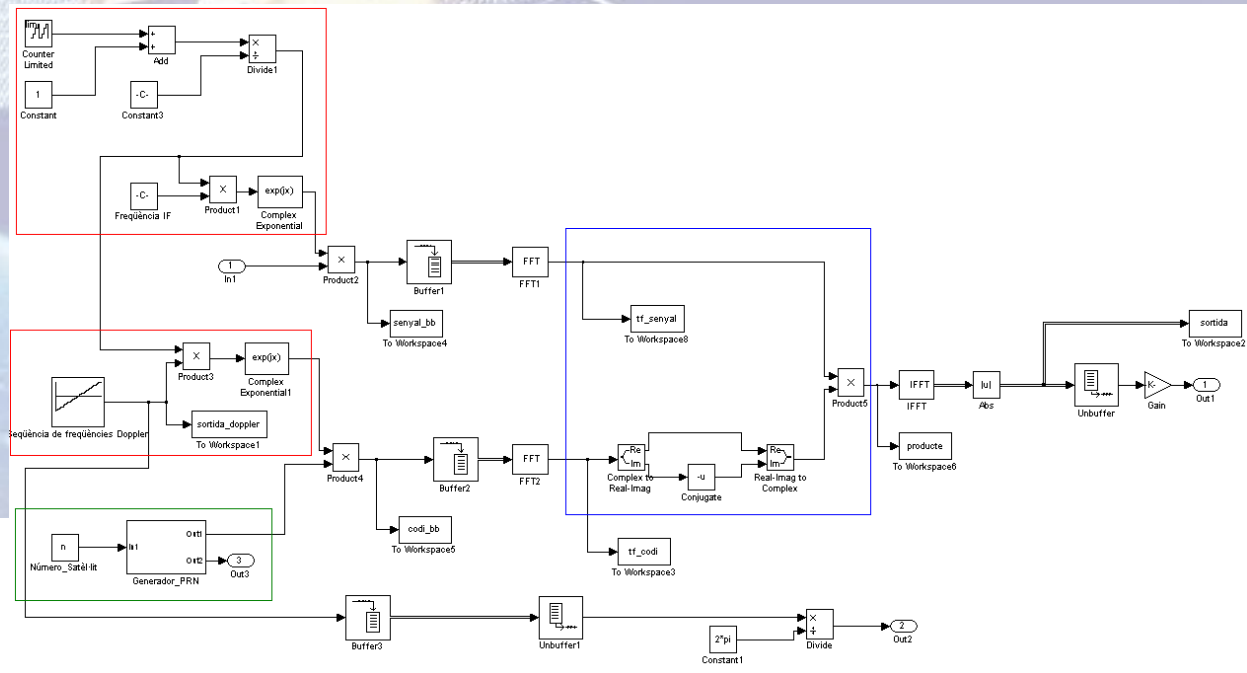
- Freqüència del codi PRN és de 1,023Mhz
- Senyal està mostrejada a una freqüència de 16,36Mhz $\rightarrow \uparrow n^o$ mostres/xip dels codis PRN

$$taxa\ de\ sobremostreig = \frac{freqüència\ de\ mostreig\ senyal}{freqüència\ del\ codi / CA} = \frac{16,36M\ (mostres / segon)}{1,023M\ (xips / segon)} = 15,99\ (mostres / xip)$$



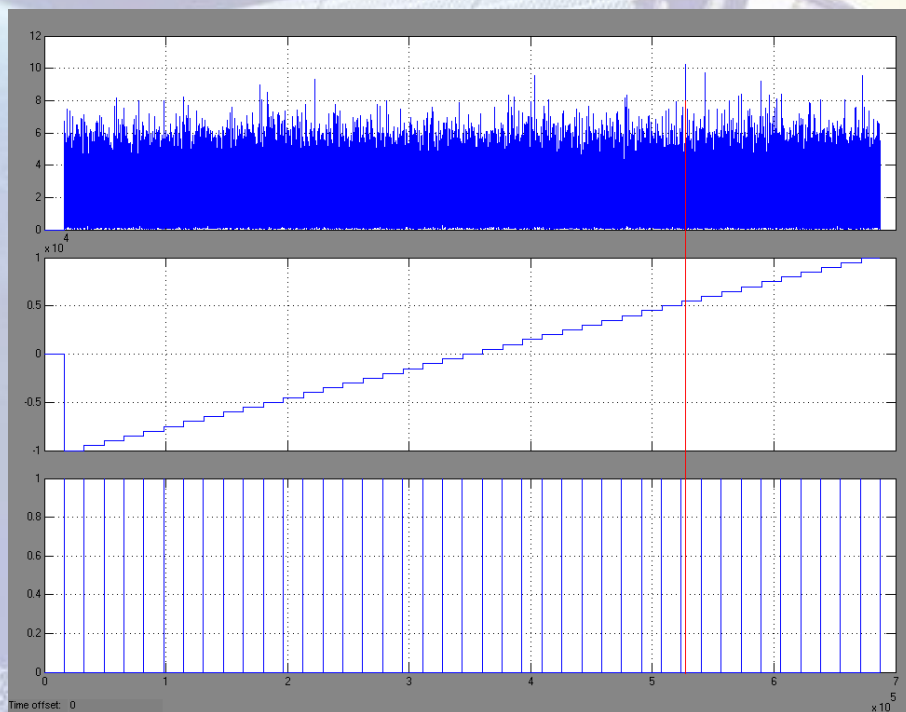
Disseny de la correlació amb escombrat de freqüències de correcció Doppler en Simulink

Esquema de blocs

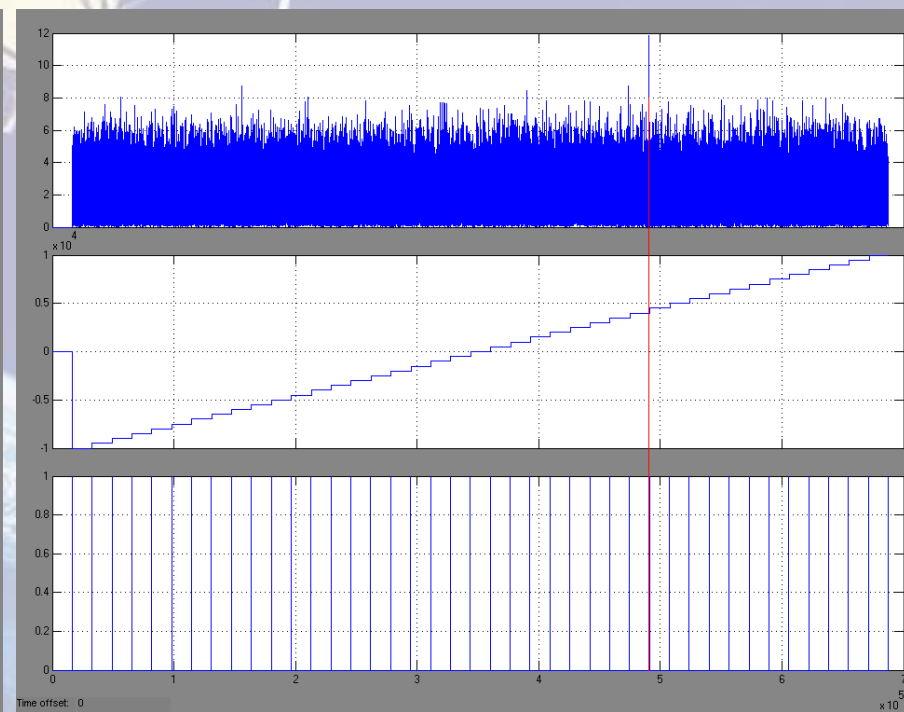


Resultats del disseny amb escombrat de freqüències de correcció Doppler en Simulink

Gràfiques



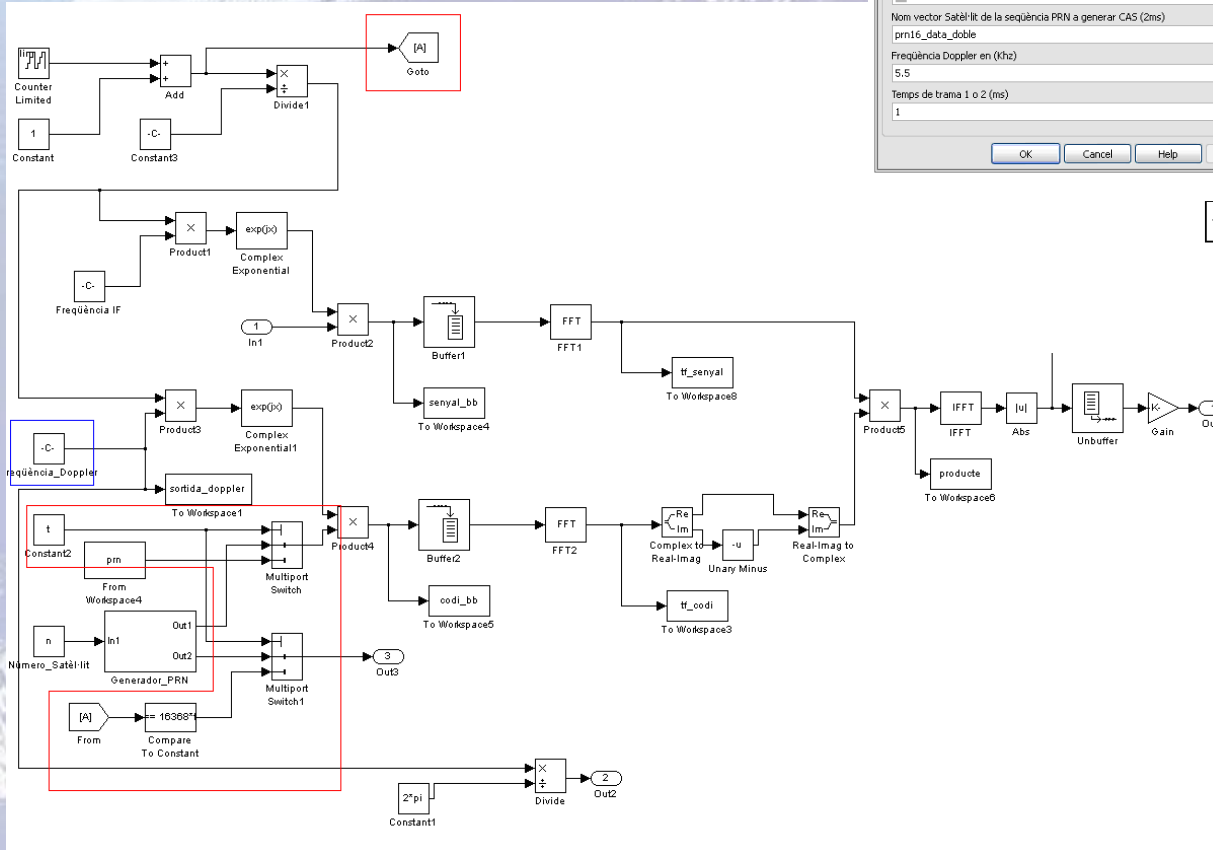
Correlació amb l'escombrat de freqüències Doppler del codi PRN del satèl·lit 16



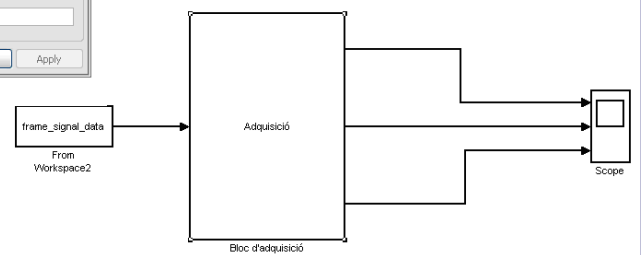
Correlació amb l'escombrat de freqüències Doppler del codi PRN del satèl·lit 21

Disseny de la correlació amb un fragment de dades en Simulink

Esquema de blocs

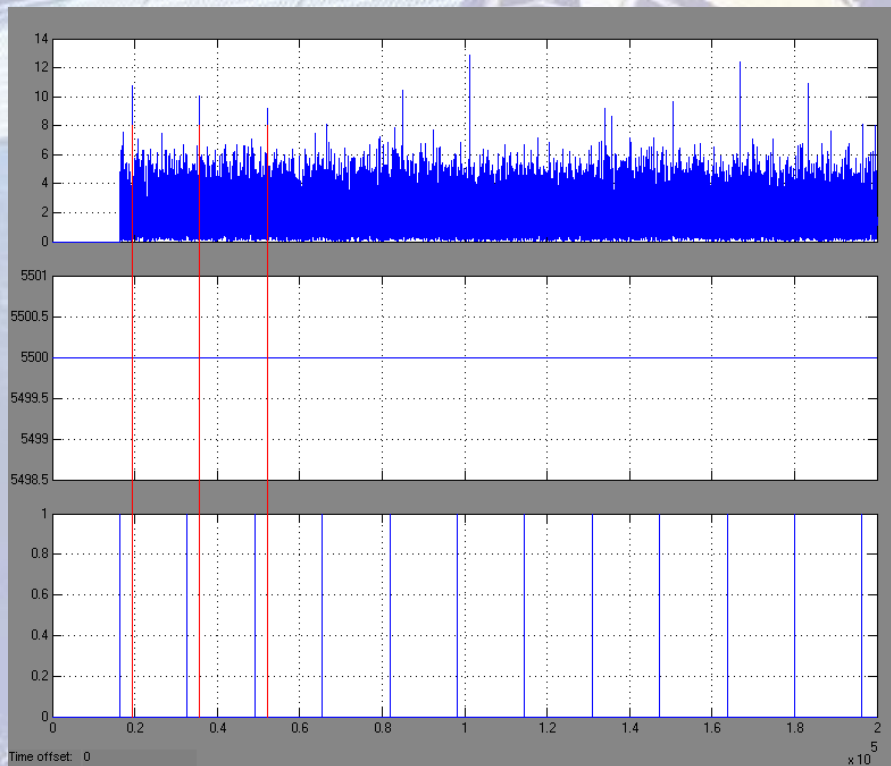


Function Block Parameters: Bloc d'adquisició
Subsystem (mask):
Parameters:
Número Satèl·lit de la seqüència PRN a generar CAS (1ms): 16
Nom vector Satèl·lit de la seqüència PRN a generar CAS (2ms):
prn16_data_doble:
Frequència Doppler en (kHz): 5.5
Temps de trama 1 o 2 (ms): 1
Buttons: OK, Cancel, Help, Apply



- Resultats del disseny de la correlació amb un fragment de dades en Simulink

Gràfica



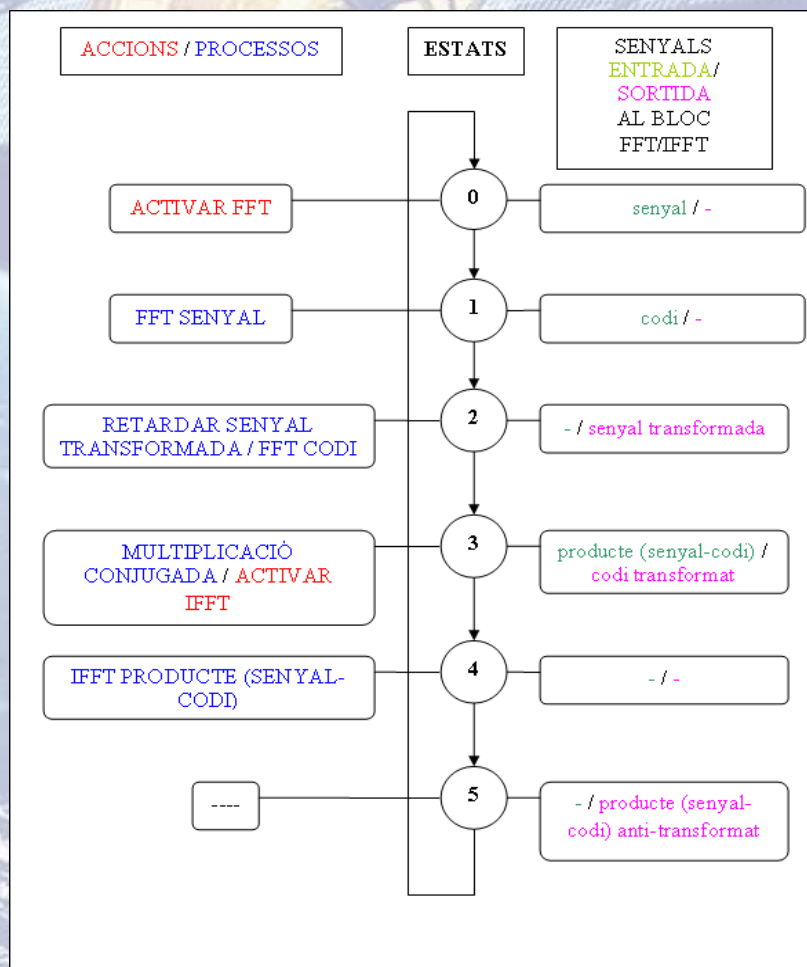
Correlació amb el codi PRN del satèl·lit 16

Taula dels pics amb les fases de codi de les correlacions realitzades

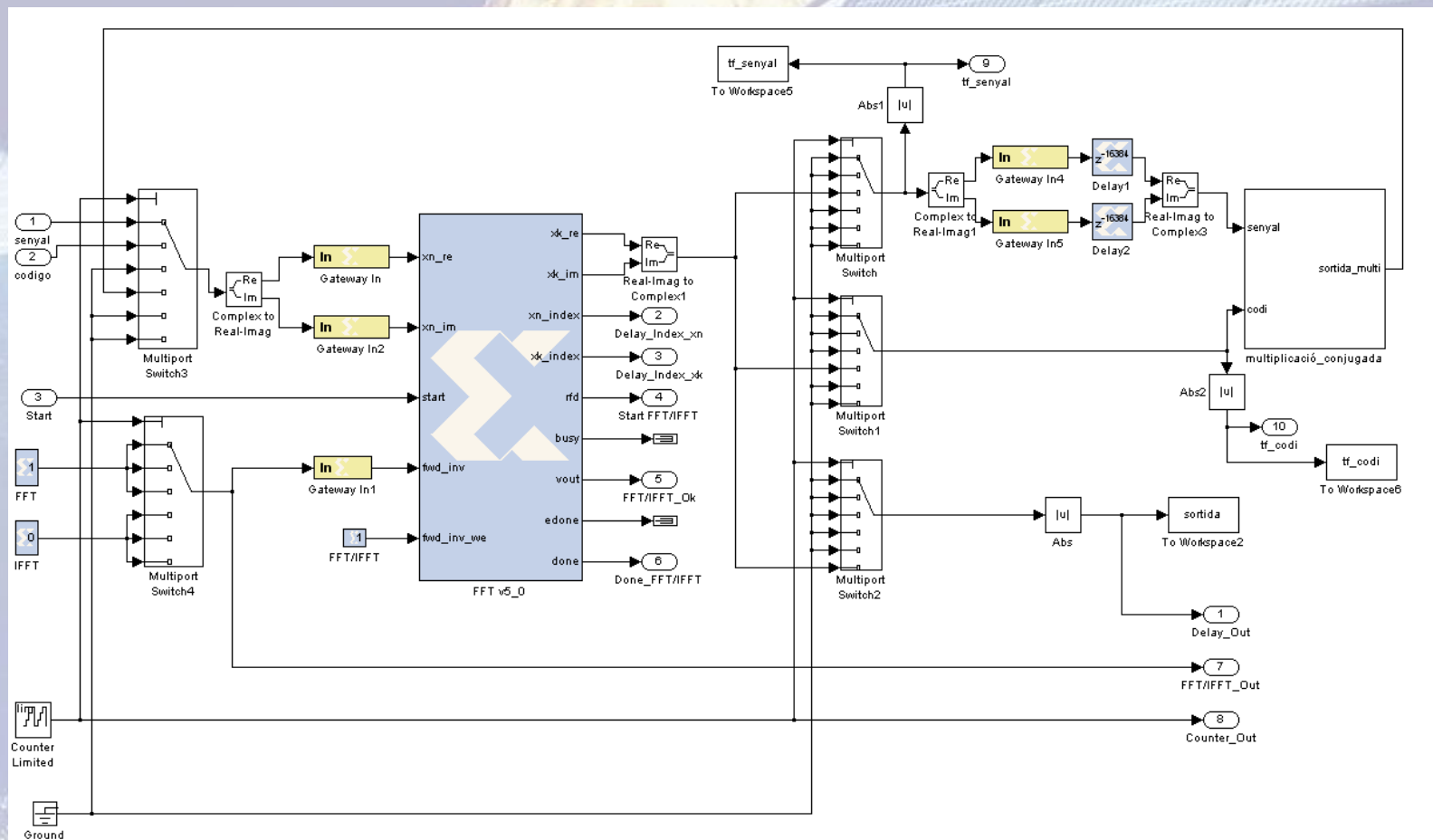
```
>> taula
taula =
1.0e+003 *
1.0740 3.0100
1.0057 3.0110
0.9226 3.0100
0.8130 0.9020
1.0479 3.0100
1.2889 3.0090
0.7120 3.0080
0.9206 3.0070
0.9619 3.0080
1.2452 3.0060
1.0892 3.0050
0.7973 3.0050
```

▪ Disseny amb l'implementació d'un bloc FFT/IFFT de Xilinx en Simulink

Diagrama d'estats

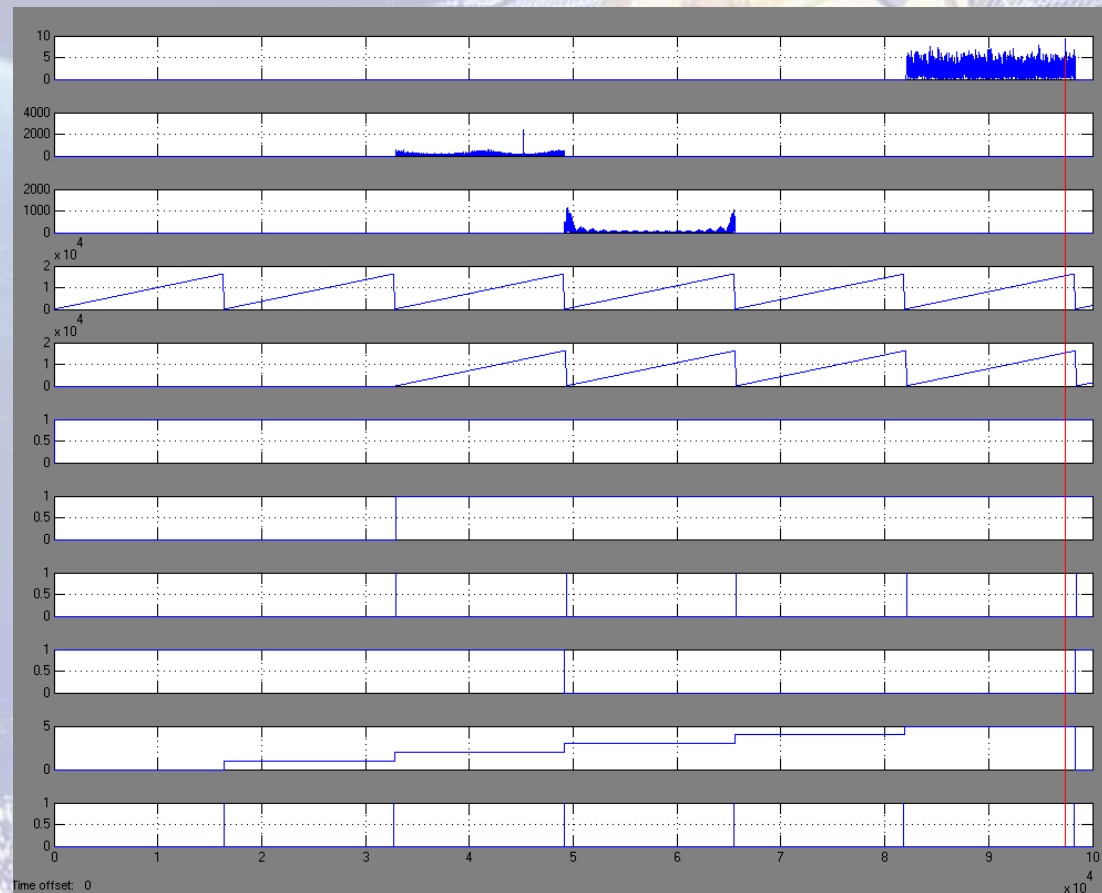


Esquema de blocs



Resultats del disseny amb l'implementació d'un bloc FFT/IFFT de Xilinx en Simulink

Gràfica



Taula del pic amb la fase de codi de la correlació realitzada

```
>> taula  
taula =  
1.0e+003 *  
0.009 15.474
```

Correlació amb el codi PRN del satèl·lit 21

Conclusions

- S'ha implementat l'etapa d'adquisició fent servir un únic bloc FFT/IFFT, que era el principal objectiu plantejat inicialment pel projecte
- Simulink ha permès anar desenvolupant aquest projecte en diferents fases i analitzar les dades juntament amb Matlab
- L'aspecte característic és que es treballa amb una senyal de dades d'una captura, és a dir, no és simulada
- Línies obertes:
 - Afegir més canals per processar alhora les dades de més d'un satèl·lit
 - Implementar el disseny optimitzat amb blocs de Xilinx en una FPGA
 - Aprofitar els recursos que queden disponibles de la FPGA per implementar etapes posteriors

Torn de preguntes

